

## コークスの破壊挙動とその制御に関する研究

著者	有馬 孝
号	1865
発行年	1998
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/10672">http://hdl.handle.net/10097/10672</a>

	あり	ま	たかし
氏	名	有	馬 孝
授 与 学 位			博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日			平成11年3月10日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規			学位規則第4条2項
最 終 学 歴			昭和49年3月29日
			東京大学大学院工学系研究科工業化学専攻修士課程 修了
学 位 論 文 題 目			コークスの破壊挙動とその制御に関する研究
論 文 審 査 委 員	主査	東北大学教授	三浦 隆利 東北大学教授 奥脇 昭嗣
			東北大学教授 飯野 雅

## 論文内容要旨

### 第1章 結論

高炉用コークスは、コークス炉から高炉への輸送工程での落下衝撃に耐えて高炉装入時点での粒度を維持し、さらに、高炉内降下時およびレースウェイでの旋回時などにおいての粉化が少い必要がある。このように、粉化特性がコークスの最も重要な特性であるにも拘らず、従来この方面からの研究例が殆ど見当らず、石炭の性質および粘結性などの石炭乾留時の物理挙動と得られたコークスの粒度および強度とを関連させた統計的解析に頼らざるを得ないのが現状である。

コークス製造プロセスの改良も開発研究されている現状では、コークスの粉化挙動が従来の経験に基づく理解と異なることも予想される。これらから、各種のプロセスにより生産されたコークスに対して合理的な塊寸法および強度の推定方法の開発が要望されている。

一方、コークスの高炉への輸送過程や高炉内レースウェイなどでの粉化を考慮した強度試験の一種として利用されている回転強度試験は便宜的なものであり、粉化挙動を合理的に解釈するには、コークス粒度分布変化をコークスの物性や構造と関連づけることが不可欠である。

このようなコークス製造に関する研究の現状を考慮すると、今後、石炭の性質および乾留時の化学反応に随伴する物理挙動から、コークスの粉化を支配するコークスの物性および構造を予測し、これらの物性および構造から粉化特性を予測することが必要である。そこで本研究では、まず、コークスの粉化挙動の実態を明らかにし、粉化に影響を及ぼす因子を示すことを試みた。次に、その結果に基づいて、粉化を支配するコークスの物性、構造を議論し、さらには、それら物性、構造をそれらを決定する石炭の特性と関連づけ、コークス粒度・強度の高度制御の可能性を検討した。

### 第2章 コークスの破壊挙動

コークスの落下衝撃による破壊生成物粒度分布と破壊速度を検討し、以下の結論を得た。

コークスの破壊生成物は、体積破壊生成物と表面破壊生成物とからなっている。両生成物の境界の粒度は、被破壊粒子の粒度に比例している。

コークスの体積破壊確率の変化はWeibull関数により表せる。コークスの表面破壊速度は、基本的には、粒子重量に比例する。体積破壊は、角張った稜を生成させるので表面破壊を増大させる。

コークスの表面破壊は、従来考えられてきたようにコークス同士の摩擦により起るのではなく、コークスが落下により試験機の鉄板と衝突する際の衝撃による破壊と考えられる。

コークスの体積破壊確率は、見掛け上、衝撃回数の増加とともに減少する。これは、コークスが、非常に深い亀裂を含み数回の衝撃のうちに破壊してしまう母集団と塊内に浅い亀裂を持ち前者と比較して破壊確率の低い母集団の混合物であるからであると考えられる。前者を除いたコークスの体積破壊確率は、コークスの受ける衝撃回数によらず一定である。これは脆性破壊の特徴であり、コークスの体積破壊は亀裂を起点として起る脆性破壊であると考えられる。

体積破壊速度は落下距離の1.5乗に比例して変化する。表面破壊速度は落下距離に比例する。従って、表面破壊は累積落下距離により決定されるが、体積破壊は累積の落下距離では決定されず、1回当たりの落下距離により変化する。

### 第3章 コークスの粉化過程の解析

前章のコークスの破壊速度と生成物粒度分布の検討結果に基づいて、表面破壊も考慮した粉碎速度論を展開し、以下の結論を得た。

コークスの粉化挙動は、体積破壊、表面破壊および体積破壊の表面破壊への影響を考えることにより記述できる。また、粉化挙動のデータから破壊のパラメーターを推定できることが示唆された。これにより、回転強度指数をコークスの構造や物性と関連付けること、および、異なる条件下での粉化を推算することが可能になると考えられる。

DI<sup>30</sup><sub>is</sub>およびDI<sup>150</sup><sub>is</sub>は主に表面破壊に対する強度を示す指数であるが、体積破壊の影響も受けており、かつ、その影響が条件により1~7ポイント程度変化し、非常に複雑な意味を持っている。コークスの破壊機構が単一でない以上、コークスの強度を一つの指数で表わすことには無理があり、体積破壊と表面破壊を分離して、それぞれを評価する必要がある。

DIを一つのプロセスで推定しようとするのには原理的に無理があり、体積破壊特性と表面破壊特性とをそれぞれ推定し、この両者に基づいてドラム強度指数を推定することにより推定精度向上が可能である。

### 第4章 コークスの体積破壊の抑制

本章では、亀裂生成機構および亀裂とコークス粒度の関係について論じ、その結果に基づいて加熱制御によるコークス粒度制御技術を検討した。

衝撃後の粒度を拡大するには、石炭装入後炉温を低下させてコークス内の温度勾配を低下させることが有効であることが確認された。この場合、初期粒度は拡大しないが、主亀裂面(塊状コークス表面)近傍における塊内縦亀裂の成長が抑制され、その結果体積破壊速度が減少することにより衝撃後のコークス粒度が拡大する。

石炭装入時の炉温が高いと縦亀裂の発生が多くなり、粉コークスの発生が多くなって塊コークス収率が低下するので、塊コークス収率の観点からは装入時炉温を上昇させることは好ましくない。

従って、塊コークス収率を維持しつつコークス粒度を拡大するという観点からは、石炭装入時炉温は平均炉温程度とし石炭装入後急速に炉温を低下していく加熱パターンが本実験の範囲内では最も適しているという結論を得た。

### 第5章 表面破壊の抑制

コークスの表面破壊強度にはコークスの物性と欠陥が影響している。コークスのマイクロ強度指数は供試コークスの気孔率と粒子の接着状態に支配されており、炭種によりマトリックスの特性に差があるとは認められなかった。従って強度に対するコークス物性の影響に関しては、弱粘結炭から強粘結炭(平均反射率0.7~1.7)の範囲では、炭種による変化は少い。

原料石炭の膨脹性が低いとコークス中に非接着粒界や連結気孔の欠陥が生成し、強度が低下する。原料石炭の石炭化度が低いとコークスのDI<sup>150</sup><sub>is</sub>は強粘結炭からのコークスと比較して15~20ポイント低いが、これはコークスに亀裂が多く体積破壊による小塊生成が多いためである。表面破壊強度DI<sup>150</sup><sub>is</sub>でみると、原料石炭の膨脹性が十分であれば強粘結炭からのコークスと比較して遜色ない。ただし、石炭化度が低下するとコークス収率が低下しコークス気孔率が上昇する影響は考慮する必要がある。

非接着粒界は石炭充填時の空隙率に対して石炭軟化時の膨脹性が不足している場合に、軟化石炭が空隙を完全に充填できず石炭粒子同士が全表面で接触しないために生成する。連結気孔は空隙率に対して膨脹率が十分に高くなく、空隙はほぼ充填できるものの膨脹の拘束が低い場合に一部の石炭粒子が自由膨脹状態になり気泡が破裂して生成する。

これらの欠陥は通常の気孔より寸法が大きいため応力集中効果により破壊の起点になりやすく、コークスの表面破壊強度を低下させると考えられる。

(石炭軟化時の比容積×石炭装入時嵩密度)の値により石炭の膨脹による空隙充填能力を評価できる。これにより非接着粒界および連結気孔の欠陥の生成によるコークス強度変化を予測できる。

さらに、原料石炭の石炭化度とコークス炉装入時嵩密度とからコークスの気孔率を推定し、気孔率変化による有効断面積変化のコークス強度への影響を評価する必要がある。

配合炭の場合、各石炭の特性の平均値ではなく、個々の石炭が膨脹性を持つことが欠陥生成の抑制に必要である。特に、低石炭化度炭を多量使用する場合は、軟化温度の低い低石炭化度炭が必要な膨脹性を持ち、さらに、軟化温度の高い強粘結炭が、再固化した低石炭化度炭の膨脹阻害効果を考慮した上で、十分な膨脹性を持つことが必要である。

## 第6章 結論

本章は本論文の結論であり、本研究で得られた結論を示した。

## 審査結果の要旨

高炉用コークスは、銑鉄の生産に不可欠なものであり、衝撃による粉化が少ないことが重要であるが、その制御については原料石炭特性との関係の統計的解析に頼らざるを得ないのが現状である。著者は、コークスの破壊挙動を検討し、それに基づいてコークスの粉化挙動を粉砕速度論的に解析し、さらに、コークスの体積破壊および表面破壊の機構と制御方法を明らかにした。本論文はこれらの成果をまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は緒論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章では、コークスの落下衝撃による体積破壊と表面破壊との生成物粒度分布と速度を測定し実験式を得ている。さらに、それぞれの破壊機構および体積破壊の表面破壊への影響を検討し、コークスの破壊挙動を統一的に評価する上で有用な知見を得ている。

第3章では、第2章の結果を用いて、表面破壊も考慮した粉砕速度論を展開し、粉化挙動のデータから破壊のパラメーターを推算する方法を提案し、粉化挙動をコークスの構造や物性と関連付けることおよび異なる条件下での粉化を推算することを可能にした。

第4章では、亀裂生成機構および亀裂とコークス粒度の関係について論じ、亀裂生成の全過程を明確にするとともにコークス粒度拡大の考え方を明らかにし、その結果からコークス炉の加熱制御により亀裂進展を抑制しコークス粒度を拡大する技術の開発に成功している。

第5章では、表面破壊強度に対するコークスの物性と欠陥の影響を検討し、非接着粒界と連結気孔の欠陥が支配的であるという新しい知見を得、石炭の空隙充填能力を石炭の膨脹性と嵩密度により評価することにより、これらの欠陥の生成と表面破壊強度を予測できることを明らかにしている。その結果、より合理的な石炭配合設計を行うことを可能にした。

第6章は本研究の結論である。

以上要するに本論文は、コークスの破壊挙動の基礎的検討から粉砕速度論を展開し、コークスの体積破壊および表面破壊に関与する欠陥とその生成機構を明らかにするとともに、破壊挙動の制御を可能にしたものであり、化学工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。